

붕산-붕사-Aluminium sulfate 계 셀룰로오스 단열재의 연소특성 연구 Combustibility of Cellulose Insulation Treated with Boric acid-Borax-Aluminium sulfate Formulation.

김 홍* 인 세 진**
Hong Kim Se-jin In

ABSTRACT

The smouldering combustibility of cellulose insulation treated with boric acid-borax-aluminium sulfate as combustion retardants are examined by cigarette ignition method and electrical cardrige heater method.

The effectiveness of Aluminium sulfate as a third combustion are acceptable both smouldering resistance and flame resistance at 18% level of all examined formulation. As the proportion of Aluminium sulfate in the formulation was increased, the flame resistance of cellulose insulation was improved.

1. 서 론

석면 대체용 단열재로서 선진국에서 개발되어 사용되는 단열재중 셀룰로오스는 단열성능은 물론 흡습성, 방충성, 방료성이 우수하고 인체에 무해하며 공사가 간편하여 주택, 빌딩의 천정, 공간벽, 마루밑의 단열시공, 공장창고 체육관, 축사, 냉동창고, 지하주차장, 미술관, 박물관 등에 광범위하게 사용되고 있다.

한편 특수용도로서 철골 내화피복제로서 사용하기 위해서는 혼소저항성이 있으면서 화염의 저항성이 뛰어난 셀룰로오스 단열재가 개발되어야 한다. 또한 현

재 공업적으로 제조되는 셀룰로오스 단열재는 폐신문지를 원료로하여 붕산과 붕사의 난연제를 첨가하여 제조하고 있으나 이들의 값이 비싸서 생산원가가 높다.

따라서 본 논문은 화염저항성의 향상과 원가절감을 위한 방법으로 기존의 붕산과 붕사 난연제에 제3의 난연제로서 Aluminium sulfate를 첨가하여 제조한 시료를 앞서 발표한 논문⁽¹⁾ 제시한 실험방법을 이용하여 혼소저항성, 혼소특성 및 화염저항성을 고찰하였다.

2. 실 험

* 정회원 : 호서대학교 산업안전공학과

** 정회원 : 김천전문대학 소방안전과

2.1 시료제조

난연제는 현재 공업적으로 사용되고 있는 Boric acid, H_3BO_3 와 Borax(Sodium tetraborate decahydrate), $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ 에 제3의 난연제인 AS(Aluminium sulfate, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)를 혼합해서 사용하였으며, 이때 난연제는 100mesh이하로 분쇄하여 사용하였다.

셀룰로오스 단열제는 (주) 대룡셀룰로오스에서 제조된 밀도 29kg/m³인것을 사용하였고, 단열재와 난연제의 혼합비율을 6, 12, 18, 24wt%로 하여 건식 방법으로 Table 1과 같은 셀룰로오스 단열재를 제조하였다.

Sample No.	Treatment	% Add on
A-6	Boric acid : Borax ; 2 : 1	6
A-12		12
A-18		18
A-24		24
E-6	Boric acid : Borax ; AS ; 6 : 3 : 1	6
E-12		12
E-18		18
E-24		24
F-6	Boric acid : BoraxAS ; 2 : 1 : 1	6
F-12		12
F-18		18
F-24		24
G-6	Boric acid : Borax : AS ; 2 : 1 : 2	6
G-12		12
G-18		18
G-24		24

Table 1. Treated cellulose insulation investigated.

2.2 밀도측정

밀도의 측정은 ASTM C 519에 따라 측정하였다.⁽²⁾ 먼저 가로 20cm 높이 10cm 두께 0.8mm인 Stainless Steel 용기에 시료를 채웠으며, 시료를 채우는 방법은 용기에 시료를 손으로 뿌려서 담고, 용기를 바다

에 서너번 내리쳐서 시료를 균일하게 채우는 방법인 Pouring Method를 사용하였다.

시료가 채워진 용기를 항온항습장치에 넣고 온도를 20℃, 상대습도 65% 조절하여 24시간 방치시킨 후 밀도를 측정하였다.

2.3 담배를 이용한 혼소저항 측정실험

혼소저항의 결정은 HH-1-515 D 방법⁽³⁾ 이 사용하였으며 실험장치는 전보에 나타내었다.

실험방법은 가로 20cm, 세로 20cm, 높이 10cm, 두께 0.8mm인 Stainless Steel 용기에 시료를 채우고 Filter 없는 담배와 함께 온도 23℃, 상대습도 65%에서 12시간 방치하였다. 그 후 용기 가운데 직경 8mm 정도의 구멍을 만들고 길이 7.5cm의 Filter 없는 담배에 불을 붙여 불붙은 끝이 위로 오도록 핀셋으로 꽂았다. 그리고 담배에서 2cm떨어진 곳에 Thermocouple을 꽂고 담배불이 타들어감에 따른 온도 변화를 알아보았다. 또한 자연연소에 의한 무게감소를 알아보기 위해 실험장치를 저울 위에 올려놓고 실온으로 될때 까지 무게 손실을 측정하였다.

2.4 카드릿지 히타를 이용한 혼소저항 및 혼소온도 측정

2.4.1 실험장치

시료를 담는 용기는 직경이 150mm이고 높이가 100mm인 파이렉스 비이커를 사용하였으며, 점화원으로서는 직경이 15mm이고 길이가 80mm인 220V, 180W인 전기 카드릿지 히타를 사용하였다. 시료의 온도 변화는 CA형 열전대를 이용하여 온도기록계에 기록하였다. 혼소 저항을 측정할때 나타난 열전대의 출력은 2가지로 구분할 수 있다. 즉 하나의 출력은 시료의 온도가 그대로 기록되며, 다른 하나의 출력은 측정온도를 전기적으로 1차 미분한 값을 기록하였다. 실험장치는 전보에 나타내었다.⁽¹⁾

또한 같은 장치를 이용하여 측정한 혼소온도는 히타의 온도를 일정하게 유지시킬 필요가 있으므로 가

변트랜스 대신 PID형 온도조절기를 이용하여 조절하였으며 이때 시료의 온도를 온도기록계에 기록하였다.

2.4.2 측정방법

난연처리된 시료는 실험전에 온도 20℃, 상대습도 65%인 상태로 24시간 이상 방치시켰으며 측정 직전에 비이커에 채워서 일정한 밀도를 갖도록 하였다. 혼소저항 실험은 가변트랜스를 이용하여 히타에 80V 전압을 공급하였을 때의 온도변화 및 그 미분값을 기록하여 측정하였다. 또한 혼소온도 측정 실험은 히타의 온도를 상승시켜 가면서 히타의 중앙부로부터 1cm떨어진 곳의 온도변화를 측정하여 혼소가 일어나는 최저온도를 혼소온도로 간주하였다.

2. 5. 화염저항성 측정

시료의 화염저항 측정실험은 ASTM D 2863에 의해서 Candle Type Flammability Tester를 이용하여 최소산소지수(LOI : Limiting Oxygen Index)를 측정하였다. 이때 시료의 형상이 섬유상이기 때문에 직경 40mm인 스테인레스 스틸망으로 제작된 시료용기를 사용하여 LOI(%)를 구하였다.

실험방법은 시료의 온도를 20℃, 상대습도 65%에서 24시간 이상방치한 시료를 일정한 밀도가 되도록 충전시켜, 유리칼럼안에 넣고 산소와 질소의 양이 일정하게 혼합된 기체를 10 l /min의 유속으로 흘러보낸뒤 30초가 지난 다음 불꽃 길이가 5-6cm인 프로판가스 토치를 이용하여 10초동안 점화 시켰다. 점화된 시료의 불꽃과 연기가 30초 이내에 없어지는 최초의 산소량 일때의 값을 LOI로 정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 난연제의 첨가량에 따른 밀도 변화

AS계의 난연제 첨가에 따른 밀도변화를 Fig.1에 나타내었다. 모든 시료에 있어서 난연제의 첨가량이 증가함에 따라 밀도가 증가하였다. 또한 같은 첨가량

의 경우에는 밀도가 가장 큰 Borax 함량이 증가함에 따라 밀도가 증가하는 현상을 나타내었으며 AS의 함량이 증가함에 따라 밀도가 감소하는 경향을 나타내었다. 모든 시료의 밀도가 48kg/m³이하 이기 때문에 셀룰로오스 단열재로서 적당한 밀도를 갖는다는 것을 알 수 있었다.⁽⁴⁾

3. 2 난연제의 혼합비에 따른 시료의 감량비

담배를 이용한 혼소저항 측정실험 결과, AS계에 대한 최종감량비를 Fig.2에 나타내었다. 모든 시료의 경우 난연제의 함량이 18%까지 급히 감소하다가 이 값 이상에서는 일정한 값을 나타내었다. AS가 포함된 시료의 경우 BA-B계 보다 감량이 많은 것으로 보아 혼소가 더 활발히 일어 났다고 생각할 수 있으며, 함량이 18%이상에서는 두 경우가 같은 양상을 나타내어 혼소저항이 있다고 할 수 있겠다.

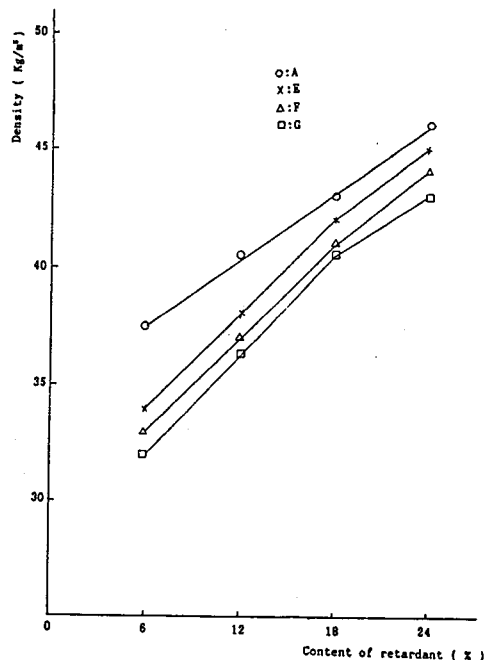


Fig. 1 Effect of treatment level on the densities of cellulose insulation treated with BA-B-AS system.

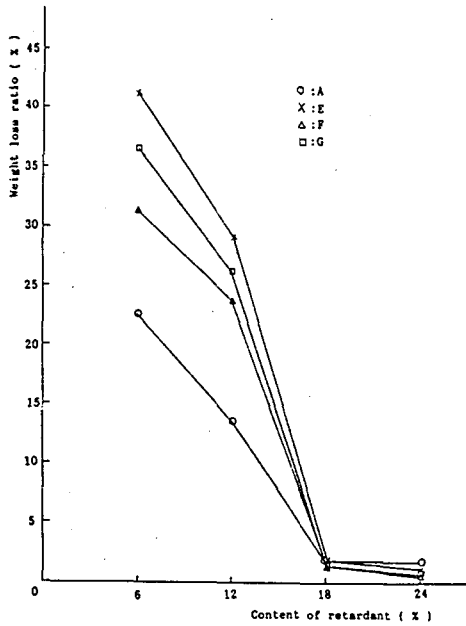


Fig. 2 Effect of treatment level on the densities of cellulose insulation treated with BA-B-AS system.

3.3 난연제 혼합비에 따른 시료의 상대혼소비의 변화

AS계 시료의 상대혼소비를 Table 2에 나타내었

다. 난연제의 함량이 증가됨에 따라 상대혼소비가 급격히 감소하였으며 함량이 18%이상의 시료들은 모두 혼소저항성을 갖는 것으로 나타났다.

Treatment Composition	Total Treatment Level in Parts Per 100 of cellulose insulation			
	6	12	18	24
B.A.;B.;AS				
2 : 1	0.80	0.25	SR	SR
6 : 3 : 1	0.86	0.55	SR	SR
2 : 1 : 1	0.40	0.36	SR	SR
2 : 1 : 2	0.62	0.46	SR	SR

Table 2. Relative rete of smouldering combustion of cellulose insulation treated with BA-B-AS system.

3.4 난연제의 함량에 따른 혼소개시시간

AS계 시료의 상대혼소비와 혼소개시시간을 비교하기 위하여 Table 3에 함께 나타내었다. 모든 시료에 있어서 난연제의 함량이 증가함에 따라 혼소개시시간이 길었으며, AS를 첨가한 시료와 그렇지 않은 경우의 양상도 비슷하였다. 그러나 AS의 경우 난연제의 함량이 6%와 12%인 경우에 거의 일정한 혼소개시시간을 나타내다가 증가하였으며 난연제의 혼합비에 따른 차이도 뚜렷하지 않았다. 또한 상대혼소비와 비교하여 볼 때, 혼소저항성이 있는 SR의 경우 모두 28분 이상의 혼소개시시간을 나타내었다.

Treatment composition	Total Treatment Level in Parts Per 100 of Cellulose Insulation							
	6		12		18		24	
	SIT	RRS	SIT	RRS	SIT	RRS	SIT	RRS
BA : B : AS								
2 : 1	22	0.80	24	0.25	28	SR	38	SR
6 : 3 : 1	23	0.86	23	0.55	29	SR	39	SR
2 : 1 : 1	25	0.40	24	0.36	30	SR	38	SR
2 : 1 : 2	24	0.62	23	0.46	28	SR	37	SR

Table 3. Smouldering initiation times and relative rates of smouldering of cellulose insulations treated with BA-B-AS system.

SIT : Smouldering Initiation time(Min.)

RRS : Relative Rates of Smouldering(Blank = 1)

3.5 난연제의 함량에 따른 훈소온도

AS계 난연제가 첨가된 셀룰로오스 단열제의 훈소 온도 측정결과를 Fig·3에 나타내었다. 모든 시료에 있어서 난연제의 첨가함량이 증가할 수록 훈소온도는 직선적으로 증가하였다. BA-B계 시료의 훈소온도보다 AS계 시료의 훈소온도가 낮게 나타났다.

순수한 셀룰로오스의 훈소온도가 480℃이었던 것과 비교해 볼 때, AS계 난연제를 6%첨가 했을때의 훈소온도가 거의 480℃를 나타낸 것으로 보아 AS계 난연제를 소량 첨가 했을때 훈소에 대한 난연효과가 거의 없었다는 것을 알 수 있었으며 첨가함량이 증가함에 따라 AS계의 훈소에 대한 난연효과가 상승하여 첨가함량이 24%이였을 때는 AS계가 높게 나타났다. 따라서 고온을 취급하는 곳에 사용되는 셀룰로오스 단열제에 대한 난연제는 AS계가 더 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

3.6 화염저항측정

AS계 셀룰로오스 단열제의 화염연소에 대한 저항 특성을 알아보기 위해 Fig·4에 난연제 혼합비에 함수로서 LOI값을 나타내었다. 모든 시료에 있어서 난연제의 함량이 증가할수록 LOI는 증가하였으며, BA-B계 보다 AS가 첨가된 시료의 LOI가 더 큰 값을 나타내어 화염에 대한 저항성이 큰 것으로 나타났다. 또한, 같은 첨가량일 때, AS의 함량이 증가함에 따라 LOI는 약간 증가하는 경향을 나타내었다. LOI의 셀룰로오스 단열제의 기준치인 26을 기준으로 볼 때,⁽⁵⁾ AS계 셀룰로오스 단열제는 함량이 6 : 3 : 1일때, 12wt%, 2 : 1 : 1일때 6wt%, 2 : 1 : 2일때 6wt% 이상에서 LOI 값이 26이상을 나타내어서 AS의 함량이 증가함에 따라 화염저항성이 향상되었다.

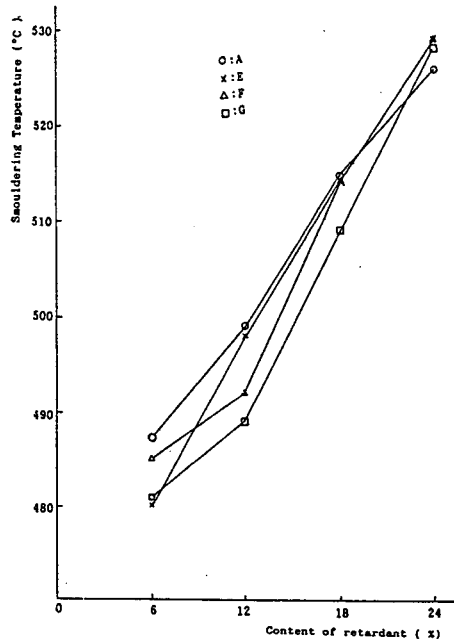


Fig. 3 Effect of treatment level on smouldering temperature of cellulose insulation treated with BA-B-AS system.

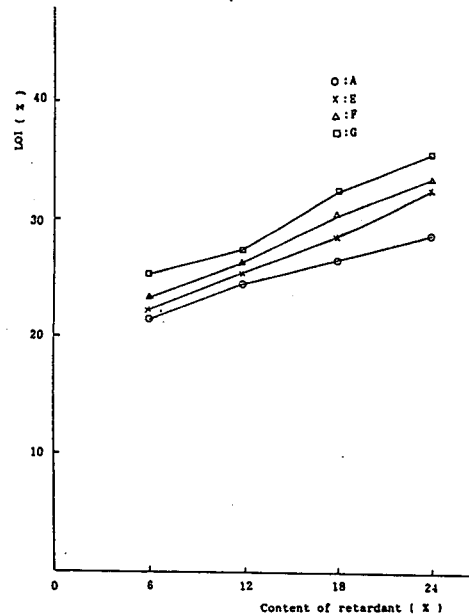


Fig.4 Effect of treatment level on LOI of cellulose insulation treated with BA-B-AS system.

3. 7 제3의 난연제로서의 Aluminium sulfate 역할

결과적으로 BA-B계에 제3의 난연제로서 AS를 첨가한 경우, 상대훈소비와 훈소개시시간 및 훈소온도의 값을 비교 했을때 AS가 훈소저항성에 대한 상승 효과는 없었으나, 반면에 최소산소지수(LOI)를 비교해 보았을 때, 화염에 대한 저항성을 향상시켰다는 것을 알 수 있었다.

특히 밀도가 감소되어 셀룰로오스의 단열재를 경량화 할수 있어, 화염저항 향상특성과 조화를 이루어 철골 내화피복재, 철근조 빌딩, 공장건물 등의 철근 피복 등의 특수 용도로 사용 가능성을 시사한다.

또한, M. Day 등이 제시한 가격조건표에 의해 계산했을 때⁽⁶⁾, 난연제 A는 3.5 \$/b(2,800원/kg), E는 3.25 \$ (2,600원), F는 3.00 \$ (2,400원) 2.27 \$ (2,200)으로 값싼 AS를 첨가함에 따라 경제성이 향상된 것으로 나타났다.

이상을 종합해볼때, Boric acid-Borax계-AS계 난연제를 첨가한 셀룰로오스의 단열재는 가격이 싸고 경량화되고 화염저항성이 향상된 것으로 나타나 AS가 제3의 난연제로서의 역할을 하였다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

석면 대체용 단열재인 봉산-붕소계 셀룰로오스 단열재의 제3의 난연제로서 AS를 첨가시켜 연소특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 밀도측정 결과, 같은 첨가량의 경우 AS의 함량이 증가함에 따라 밀도가 감소하는 경향을 나타내어, 셀룰로오스 단열재를 보다 경량화 할수 있다.
2. AS계 난연제의 첨가량이 18wt% 이상인 단열재는 모두 훈소 저항성을 나타내었다.
3. AS의 첨가에 따른 훈소개시시간의 차이는 뚜렷하지 않았으나, 훈소저항을 나타내는 시료의 훈소개시시간은 28분 이었다.

4. LOI 측정된 결과, 난연제중의 AS함량이 증가함에 따라 화염저항성이 더 향상된 것으로 나타났다.
5. 값비싼 봉산과 붕사 대신에 AS를 사용함에 따라, 셀룰로오스 단열재의 경제성을 높일 수 있었다.

참고문헌

1. 김 홍, "Boric acid-Borax-Alum계 셀룰로오스 단열재의 훈소에 관한 연구"산업안전학회지, 6, (1), pp.14, (1991)
2. ASTM E 84-75 "Surface Burning Characteristics of Building Materials"(1975)
3. Gernal Service Administration (GSA) Federal Specification HH-1-515D, Insulation Thermal (Loose Fill for Pneumatic or Pouring Application)Cellulose or Wood Fiber(1978)
4. Canadian Government Specification Board. Standard for : Thermal insulation, Cellulose Fiber, Loose Fill. 51-GP-60M April(1979)
5. M. Day and M. Wiles, "Combustibility of Loose Fiber Fill cellulose Insulation III." J. Con. Pro. Flam. pp. 6, 105(1979)
6. M. Day, T. Sprunchuk and D. M. Wiles, "The Use of the National Research Council of Canad's Carpet Flammability Apparatus for Measuring the Flammability of Losse Fiber Fill cellulose Insulation," J. Cons. Prd. Flam. pp. 6, 165(1979)
7. M. Day, T. Suprunchuk and D. M. Wiles, "The Fiber Properties of Cellulose Insulation." J. Therm. Insulation, 4